



ENVIRONMENTAL HEALTH PROJECT

ACTIVITY REPORT

No. 104

Estudio para determinar las fuentes de exposición a plomo en la provincia constitucional del Callao, Perú

June 2000

by

Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

Ing. Juan Narciso Chávez
Dra. Carmen Gastañaga Ruiz
Dra. Rocío Espinoza Lain
Dr. Carlos Sánchez Zavaleta
Biol. Shirley Moscoso Reátegui
Químico José Luis Quequejana Condori
and
Dr. Mauricio Hernández Avila, Consultor AID/EHP

Prepared for the USAID Mission to Peru
under EHP Project No. 26568/Other.PE1.Lead.Analysis

Environmental Health Project
Contract No. HRN-I-00-99-00011-00
is sponsored by the Bureau for Global Programs, Field Support and Research
Office of Health and Nutrition
U.S. Agency for International Development
Washington, DC 20523

Índice

Resumen Ejecutivo	
Inglés	3
Español	5
Antecedentes	8
Estudios de isótopos estables de plomo	10
Muestras de gasolina	10
Muestras de minerales	11
Muestras de aire	11
Muestras de sangre	13
Análisis de los resultados de la razón de isótopos	13
Relación entre las fuentes de plomo (aire, gasolina y minerales y el plomo en sangre)	14
Muestreo ambiental	16
Muestras de agua	17
Muestras de suelo	17
Muestras de polvo y de suelo de los hogares	18
Resultados del muestreo en las zonas residenciales cercanas a los depósitos de minerales	20
Conclusiones y recomendaciones	23

Abstract

As part of the activities related to removing lead from gasoline, the Peruvian government proposed the implementation of a blood-lead survey to evaluate current lead exposure in Lima and to obtain baseline data to monitor changes in blood lead associated with the phase-out of lead. USAID Peru provided technical assistance to the General Directorate of Environmental Health (DIGESA) to develop the blood lead study protocol and provided necessary sampling equipment and supplies.

The study was developed and conducted between November 1998 and February 1999 and included 2510 children, aged six months to nine years, and 874 women in early post-partum, living in Lima or the Constitutional Province of Callao. The results of the survey conducted revealed that mean blood lead level in children was 9.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$. These moderately elevated blood levels are largely attributed to the continued use of leaded gasoline in Peru. However, results from the study also identified certain areas of El Callao, with alarmingly high (a 4-fold difference) levels of lead exposure. Preliminary information gathered at the time of the study suggested that exposure to lead originated from a large depository of mineral concentrates located in the area where the study documented the highest blood lead concentrations.

The information presented in this report summarizes the results of the activities conducted to clarify sources of lead contamination in Callao and to determine the public health impact of the problem. Activities developed included the extension of the sample to include children living in the neighborhoods close to the storage area and the determination of lead concentrations and lead isotope ratios in blood samples of children; in minerals obtained from the inside of the deposits; in gasoline; and in dust, soil, air and water.

The lead isotope methodology is based on the fact that lead consists of four natural stable isotopes, which vary in relative abundance from one lead ore to another, providing a fingerprint of the lead source. When the isotope composition of lead present in investigated sources varies, this difference will also be reflected in the isotope composition of blood-lead, providing an accurate method to link lead found in blood to a potential source. As a first step the research team documented significant

differences in the isotope composition of lead found in gasoline used in Lima with that found in the mineral stored in El Callao. As a second step the research team extended the isotope analysis to the lead found in blood and air. The isotope ratio pattern indicated that the lead found in blood of children living in El Callao matched very closely the isotope ratio of lead found in minerals from the deposit, pointing at this source as the origin of blood lead. In addition results also suggested that lead from the deposits had a larger impact in the area. This last result was suggested by the analyses of lead present in the air. The lead found in air samples from El Callao matched very closely the lead from the deposits. However the lead found in air samples from Lima suggested a mixing pattern of lead originated from gasoline and from the minerals in the deposits. This last observation suggests that fugitive dust from the deposits may travel long distances, contaminating a larger area than previously estimated.

The results from the environmental sampling showed that lead in water is within recommended values, while soil and dust samples from El Callao had a high content of lead. This observation added support to the hypothesis that the mineral concentrate storage areas are the source of lead exposure. Furthermore, the study demonstrated a strong and significant relationship between the lead content in dust and soil and the blood lead levels of children.

The survey was extended to include other neighborhoods (Chacaritas, Frigorifico and Ciudadela Chalaca) in the vicinity of the mineral storage areas. Children aged 6 months to 7 years were invited by personnel of DIGESA to attend for a lead screening. Results showed high lead levels in this population. Mean blood lead levels were 23 $\mu\text{g}/\text{dL}$, and 54% of children had values above the 20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ cutoff point.

Given the high blood-lead levels observed among children living in the neighborhoods that are close to the areas where mineral concentrates are stored, it is urgent to initiate actions to decrease exposure. Results from the environmental sampling study suggest that certain areas close to mineral concentrate storage areas have high lead levels in soils. This poses a risk to the children living in these areas, because children, as part of their normal activities,

consume between 80 to 135 mg of dust and soil per day, with more consumption likely in dry, dusty areas with poor hygiene.

In the study zone, ingestion rates may increase due to low accessibility to running water, or due to behavioral patterns (low number of hand washes per day) or characteristics of playgrounds (soil vs. concrete). The proposed intervention is related to hygiene improvements to promote behavioral changes to improve personal hygiene and

cleaning activities. Increased handwashing will be an important behavior change to reduce lead intake.

An educational program will be designed for parents, teachers and children, including training of a counseling/education team (using local residents) that can visit families and provide follow-up to the school education programs for children who have blood lead levels in excess of 30 µg/dL.

Additional interventions and monitoring at industry level are also recommended, as air quality standards are being violated, suggesting that interventions to control fugitive dusts are urgently needed to remediate the situation.

Resumen

I. Antecedentes

Como parte de las acciones que el Gobierno del Perú ha venido realizando para impulsar la eliminación del plomo de la gasolina de 84 octanos, el Ministerio de Salud, a través de la DIGESA realizó una primera investigación entre junio de 1998 y mayo de 1999, donde se estudiaron 2510 niños cuya edad promedio fue de 4.5 años y 814 mujeres en periodo de post parto temprano, con una edad promedio de 25.5 años. Los resultados indicaban diferencias importantes en los valores promedio de plomo en sangre entre los distritos seleccionados para el estudio, siendo el promedio para la población infantil de 9.9 ug/dl (DE= 9.2; media geométrica = 7.6 ug/dl), esto es promediando todos los distritos incluyendo el Callao. Cuando se analiza sólo el Callao se observó un promedio de plomo en sangre de 25.6 ug/dl (DE= 14.6) mientras que para el resto de niños estudiados fue de 7.1 ug/dl. Las cifras más altas se registraron en los niños de las Escuelas María Reiche y Guadalupe, así como en los participantes seleccionados del Centro de Salud de Puerto Nuevo. Un estudio más detallado de la zona del Callao evidenció que tanto las escuelas como el Centro de Salud antes mencionado se ubican cerca de una extensa área de almacenamiento de concentrados de minerales. Estos hallazgos hicieron que se piense que el alto nivel de plomo en sangre en los niños de estas zonas podría tener un origen en la contaminación ambiental que producen los concentrados de los minerales que se manejan en los depósitos de minerales, siendo muy probable que por acción del viento y de otros factores ambientales, así como de la forma como se manipulan los concentrados durante su empaque y transporte, estas partículas se dispersen (aunque no a distancias muy grandes dado el tamaño de las mismas) por ello la DIGESA consideró conveniente ampliar el estudio en la zona del Callao con el fin de identificar la fuente de contaminación y poder iniciar intervenciones de control. El presente informe presenta los resultados encontrados en la medición de isótopos estables de plomo y determinación de otras posibles fuentes ambientales, así como los resultados de una encuesta pediátrica de niveles de plomo en sangre realizada

en poblaciones cercanas a los depósitos de minerales, a saber: Chacaritas, Ciudadela Chalaca y Frigorífico.

II. Resultados

Estudio de Isótopos estables de Plomo

El plomo en la naturaleza está en forma de cuatro isótopos estables: ^{204}Pb (1.4%), ^{206}Pb (24.1%), ^{207}Pb (22.1%) y ^{208}Pb (52.4%); que varían en su proporción relativa en puntos de extracción minera en diferentes partes del mundo.

La composición de isótopos constituye una especie de huella digital que permite identificar la fuente geográfica de extracción, así como la fuente de exposición a plomo en poblaciones que han estado expuestas a este metal.

En el presente estudio se determinó la variabilidad de isótopos con la finalidad de evaluar la importancia de los almacenes de minerales como fuente de exposición a plomo para los habitantes del Callao. Se llevaron a cabo determinaciones de isótopos en diferentes muestras: gasolina de 84 octanos, minerales obtenidos de las zonas de almacenamiento, aire y sangre, todas ellas se efectuaron en los laboratorios de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de los Estados Unidos en Atlanta.

La distribución de razones de isótopos encontrada en las muestras estudiadas mostró diferencias importantes. Se observó que la razón de isótopos del plomo de la gasolina tenía un coeficiente de variación muy pequeño.

La razón de isótopos encontrada en la gasolina es muy diferente a la de las muestras de minerales obtenidas del depósito visitado en el Callao. La composición de isótopos de plomo en las muestras de aire mostraron también diferencias con respecto a los sitios de muestreo. Así, los valores observados en las muestras de aire del Callao fueron estadísticamente diferentes de los de los distritos de Lima (diferencia de 5.7% $p < 0.001$), los patrones observados en el Callao, casi son los mismos que los encontrados en las muestras de minerales.

Por otro lado, el patrón de isótopos de las muestras de aire de los distritos de Lima refleja un punto intermedio

entre el patrón de las gasolinas y el de las muestras de minerales. Esto sugeriría que el plomo de los minerales almacenados en el Callao se desplaza a grandes distancias y que se mezcla en la atmósfera con el polvo emitido por la combustión de la gasolina viéndose reflejado este fenómeno en la composición de mezcla de isótopos que se observa en las muestras de aire de los distritos de Lima.

La variabilidad isotópica encontrada en las muestras de sangre explicaría cerca del 40% de la variabilidad observada en las concentraciones de plomo en sangre en los grupos estudiados, lo que apoya la hipótesis de la existencia de dos fuentes de contaminación y de que la fuente de plomo para los niños del Callao la representarían los depósitos de minerales de esa zona. Al analizar estadísticamente los grupos se encuentran resultados importantes, ya que la razón de isótopos de plomo en sangre de los niños del Callao no es estadísticamente diferente de la observada en las muestras de minerales ni de la observada en el aire del Callao, pero sí lo es de la razón de isótopos observada en la sangre de los niños que habitan en el Lima o en las muestras de aire de los distritos seleccionados en Lima. Esto último sugiere que el plomo que se encuentra en la sangre de los niños del Callao tiene su origen principalmente en los depósitos de minerales y que el plomo que se encuentra en la sangre de los niños de otros distritos se forma por una mezcla de lo que se observa en los depósitos del Callao y de lo que se deriva de la combustión de gasolina con plomo. El patrón de mezcla observado en las muestras de aire de Lima y en la sangre de los niños que habitan fuera del Callao sugiere que los depósitos de minerales tienen un radio de influencia mayor al de la zona del Callao.

Resultados del estudio de muestreo ambiental

El muestreo ambiental incluyó la medición de plomo de las partículas totales en suspensión (PST) y de las muestras de suelo de la zona del Callao en las áreas de influencia de los depósitos de minerales; también se muestrearon polvo del interior de los hogares (piso y muebles), de la mano de los niños, del agua de consumo y del suelo en el exterior de las casas, para esto último se seleccionaron aleatoriamente viviendas de niños que hubiesen participado en el estudio basal. La muestra final estuvo constituida por 85 hogares del grupo de niños con niveles de plomo altos (concentración promedio= 38.8 ug/dl DE=12) y de 44 del grupo de plomo en sangre bajo (concentración promedio 5.8 ug/dl; DE=2.0).

El promedio de plomo encontrado en la zona del Callao fue de 7.55 ug/m³, mientras que para los otros distritos fuera de la influencia de los depósitos fue de 0.34 ug/m³, siendo el recomendado de 1.5 ug/m³

de aire, lo que indica la existencia de un foco puntual de contaminación en el distrito del Callao.

Se obtuvieron 47 muestras de agua, la concentración promedio de plomo en agua fue de 3.8 ppb, valor que está por debajo del recomendado por la OMS. Se obtuvieron 41 muestras de suelo, en las que la concentración de plomo fue de 542 ug/g de suelo (DE=742). La concentración de plomo disminuyó significativamente ($P < 0.01$) conforme aumentó la distancia del punto de muestreo a los sitios de almacenamiento de minerales, por lo que los resultados de este muestreo apoyan fuertemente la existencia de una fuente de exposición local que coincide con la zona de depósitos de minerales.

Se obtuvieron 170 muestras de polvo, las concentraciones observadas fueron de 0.061 ug/pie² y 0.52 ug/pie² para muebles y de 0.45 ug/pie² y 0.83 ug/pie² para polvo del piso para Lima y la zona de influencia de minerales en el Callao, respectivamente. En cuanto al polvo en las manos de los niños, de un total de 82 muestras se encontraron concentraciones 2.3 veces más altas en la zona de influencia de los depósitos de minerales.

De igual manera cuando se analizó la relación geográfica entre los niveles de plomo en sangre y la localización de la vivienda en relación con el sitio de muestreo se identificó una asociación positiva, concentrándose los valores más altos en las zonas cercanas a los depósitos de minerales.

Conclusiones

Los resultados de los muestreos ambientales concuerdan con los resultados de los isótopos de plomo e indican que los depósitos de minerales son la fuente más importante de contaminación por plomo en la zona del Callao, especialmente para los habitantes de la zona cercana al Puerto. Esto se concluye debido a que las concentraciones de plomo en suelo disminuyen exponencialmente conforme aumenta la distancia a los depósitos, la asociación positiva documentada entre la concentración de plomo en suelo y en polvo con la concentración de plomo en sangre; la observación de que los niveles de plomo en agua fueron menores a los establecidos internacionalmente; y a los diferenciales observados en las concentraciones de plomo entre la zona cercana a los minerales y las zonas estudiadas en Lima, los mismos que se encontraron tanto en aire, suelo y polvo de muestras de los hogares así como mano de los niños.

Recomendaciones

Se considera urgente implementar acciones de control en las zonas de los depósitos de minerales que se encuentran en el Callao, las mismas que deben incluir acciones

ambientales de infraestructura a fin de lograr un almacenamiento y manejo de los concentrados de minerales de tal manera que se minimice la generación de partículas.

Establecer un sistema de vigilancia continua de niveles de plomo en aire hasta que lleguen a estar dentro de los niveles permitidos por la norma de Calidad de aire del país.

Evaluar la posibilidad de la reubicación del Colegio María Reiche ya que el riesgo de contaminación por plomo de los escolares que acuden allí es muy alto. Asimismo es importante informar a los habitantes de la zona las

opciones para disminuir la exposición a polvos contaminados.

A fin de establecer el impacto ambiental de los depósitos de minerales en el aire de Lima y Callao se recomienda extender los estudios de isótopos de plomo. El estudio comparativo de la distribución de isótopos de plomo en aire y sangre de habitantes de otras ciudades con el observado en Lima podría esclarecer la participación de la gasolina como fuente de plomo y ayudar a determinar con mayor precisión el impacto de las zonas de depósitos observados tanto en Lima como en otras ciudades del país.

Antecedentes

Como parte de las acciones que el gobierno peruano ha venido desarrollando para impulsar la eliminación del plomo en la gasolina, el Ministerio de Salud, por medio de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), realizó una investigación para determinar el grado de exposición a plomo de los habitantes de Lima y el Callao. El objetivo principal del estudio fue el de establecer los niveles de exposición a plomo en una población previamente identificada, para posteriormente evaluar los cambios en los niveles de plomo en sangre asociados al retiro del plomo de la gasolina. En la investigación antes mencionada, se estudiaron 2510 niños, cuya edad promedio fue 4.5 años, y 814 mujeres en periodo de posparto temprano, con edad promedio de 25.5 años.

La población estudiada se seleccionó mediante un muestreo aleatorio realizado en centros escolares que incluyeron 15 centros educativos de enseñanza inicial y primaria, ubicados en cinco distritos de Lima y el Callao, un centro de salud localizado en Puerto Nuevo, en el Callao, y los hospitales Daniel A. Carrión, Instituto Materno Perinatal, María Auxiliadora, San Bartolomé y Santa Rosa.

El promedio de plomo en sangre para la población infantil estudiada fue de 9.9^{μ}g/dl ($\text{DE}=9.2$; media geométrica= 7.6^{μ}g/dl). Del total de participantes, en 29 y 9.4% se detectaron concentraciones de plomo en sangre por arriba de los 10 y los 20 $\mu\text{g/dl}$, respectivamente. Al comparar los valores promedio de plomo en sangre entre los distritos y escuelas seleccionados se observaron variaciones muy importantes (figura 1 y 2). Las cifras más altas de plomo en sangre se registraron para los habitantes de la Provincia Constitucional del Callao, especialmente en los niños seleccionados de las escuelas María Reiche y Guadalupe, así como en los participantes seleccionados en el centro de salud ubicado en el asentamiento humano de Puerto Nuevo, en el Callao.

Las concentraciones de plomo en sangre en los lugares antes mencionados fueron significativamente más altas que las observadas para el resto de la población estudiada ya sea en la zona del Callao o en Lima (figura 2).

En los participantes estudiados en la zona antes mencionada se observó un promedio de plomo en sangre de 25.6^{μ}g/dl ($\text{DE}=14.6$), mientras que para el resto de la población estudiada el promedio fue de 7.1^{μ}g/dl ($\text{DE}=\dots$)

5.1). Un estudio más detallado de la zona del Callao evidenció que las escuelas antes mencionadas, así como el centro de salud de Puerto Nuevo, se ubican cerca de una extensa área de almacenamiento de concentrados de minerales (mapa 1) que se encuentra en la zona del puerto. Cabe resaltar esto, ya que, en los niños estudiados el antecedente de vivir en los alrededores de a la zona de almacenamiento de minerales se asoció con un exceso de 13^{μ}g/dl de plomo en sangre. Igualmente, al evaluar el impacto de esta variable como predictor de concentraciones elevadas de plomo en sangre (definidas como valores superiores a $>10^{\mu}\text{g/dl}$) se observó que la presencia de depósitos de minerales en las áreas cercanas a la vivienda o de la escuela a la que asisten los niños aumenta casi en 18 veces el riesgo de tener valores elevados de plomo en sangre.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio antes mencionado se identificó una zona en el Callao que incluye los barrios de Chacaritas, Puerto Nuevo, Frigorifi-

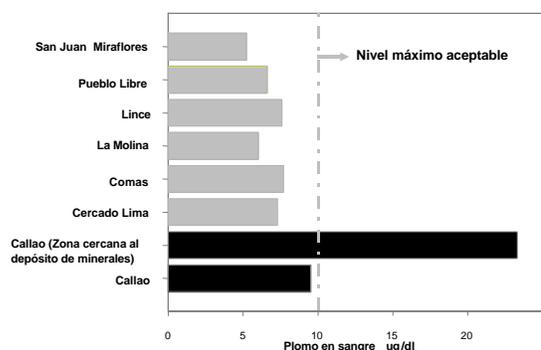


Figura 1. Concentración de plomo en sangre en población infantil de acuerdo con la ubicación por distrito de los centros escolares estudiados. Lima Metropolitana y Callao, 1998-1999.

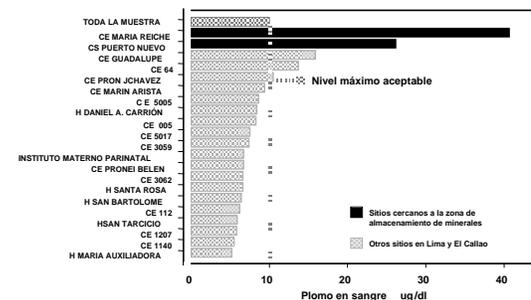
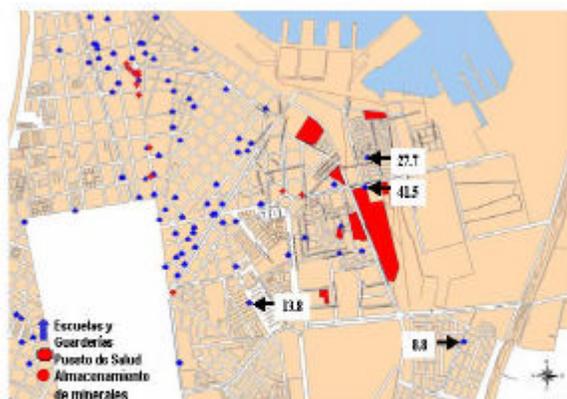


Figura 2. Concentración de plomo en sangre en población infantil de acuerdo sitio de reclutamiento. Lima Metropolitana y Callao, 1998-1999. CS= Centro de Salud; CE= Centro Escolar; H= Hospital

1. La Organización Mundial de la Salud y los Centros para el Control y Prevención de las Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos recomiendan como valor máximo permisible para plomo en sangre el límite de 10^{μ}g/dL .



Mapa 1. Niveles promedio de plomo en sangre ($\mu\text{g/dl}$) en población infantil de acuerdo con el centro de residencia y la distancia a la zona de almacenamiento de minerales en el Callao en la zona cercana al depósito de Minerales.

co y Ciudadela Chalaca donde los niños estudiados presentaron niveles de plomo en sangre considerablemente más altos que el resto de la población que participó en el estudio. Diversas fuentes de información sugieren que el alto nivel de plomo en sangre, observado en los niños del Callao, podría tener su origen en la contaminación ambiental que producen los concentrados de minerales que se manejan en los centros de almacenamiento. (Cuadro 1)

Durante una visita a la zona del puerto donde se almacenan los diferentes productos mineros antes de su exportación, se observó que los concentrados de minerales se organizan en montículos que varían de tamaño, alcanzando algunos de ellos hasta 10 o 15 metros de altura. Se observó también que permanecen la mayor parte del tiempo al descubierto (**figuras 3 y 4**), lo que propicia la dispersión de partículas hacia las áreas residenciales que se encuentran cercanas a la zona donde se ubican los depósitos. Es muy probable que por la simple acción del viento o por la manipulación de los concentrados durante su empaque y transporte se desprenda una buena cantidad de partículas. Dado que las partículas que conforman estos concentrados son relativamente grandes estas no son desplazadas a grandes distancias, sino que tienden a depositarse en los terrenos aledaños al área de depósito, constituyendo una fuente potencial de contaminación para los habitantes de los alrededores de los centros de almacenamiento (**mapa 1**). En el cuadro 1 se describen los diferentes datos y hallazgos que sugieren que las concentraciones de plomo elevadas que se documentaron en los niños estudiados en la zona tienen su origen en la contaminación que producen las partículas que se desprenden de los centros de almacenamiento de minerales.

Con el objetivo de identificar la fuente de contaminación por plomo en la zona de Puerto Nuevo en

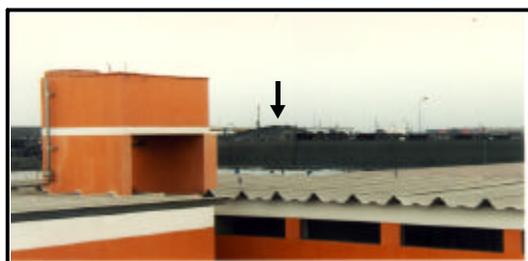


Figura 3. Vista de la azotea de la escuela María Reiche. Barrio de Puerto Nuevo, provincia Constitucional del Callao, Perú 1998.

En esta fotografía se observan los montículos de minerales. También se puede apreciar la existencia de una malla protectora.



Figura 4. Vista del interior del centro de almacenamiento de minerales. Barrio de Puerto Nuevo, provincia Constitucional del Callao, Perú 1998.

En esta fotografía se pueden apreciar los montículos en los que se organizan los diferentes concentrados de minerales antes de ser enviados al puerto. Se puede apreciar que se mantienen al descubierto.

Cuadro 1

DATOS QUE SUGIEREN QUE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO SE ORIGINA DE LA ZONA DE ALMACENAMIENTO DE MINERALES

- En los niños que acuden a la escuela más cercana a la zona de almacenamiento se registró una media de plomo en sangre de $40.7 \mu\text{g/dl}$, mientras que en los de la escuela más lejana la medida fue de $7.5 \mu\text{g/dl}$.
- La observación de que la concentración de plomo en suelo disminuye conforme aumenta la distancia entre el sitio de muestreo y la zona en donde se encuentran las áreas de almacenamiento.
- El análisis químico de los concentrados de minerales identificados en la zona mostró un contenido de plomo sumamente elevado (mayor de 10000 ppm).
- Los resultados de los monitoreos ambientales realizados por la DIGESA en la escuela más cercana a la zona de los depósitos de almacenamiento registraron concentraciones muy elevadas de plomo en partículas suspendidas totales.

el Callao y poder establecer medidas de control con el fin proteger a la población que habita en la zona, la DIGESA inició diferentes estudios para evaluar la posible participación de las áreas dedicadas al almacenamiento de minerales como fuente de contaminación ambiental. En este reporte se presentan los resultados de las investigaciones correspondientes a la medición de isótopos estables de plomo, así como los resultados obtenidos en el estudio de determinación de plomo en otras posibles fuentes ambientales, como polvo, tierra y agua. También se incluyen los resultados de una nueva encuesta para caracterizar la exposición a plomo de la población pediátrica cuyo lugar de residencia se encuentra cercano a las zonas de depósito. En esta encuesta se incluyó principalmente a residentes de los barrios de Chacaritas y Frigorífico y Ciudadela Chalaca.

Estudios de isótopos estables de Plomo

El plomo existe en la naturaleza en forma de cuatro isótopos² estables que se presentan en diferentes proporciones: ^{204}Pb (1.4%), ^{206}Pb (24.1%), ^{207}Pb (22.1%) y ^{208}Pb (52.4%). Los isótopos ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb son producto de la descomposición de elementos radioactivos, como el uranio y el torio, por lo que su proporción relativa en los puntos de extracción minera en diferentes partes del mundo varía de acuerdo con las concentraciones originales de uranio (^{238}U y ^{235}U) y de torium (^{232}Th), que a su vez dependen del tipo de roca y de la zona geológica en que se realiza la explotación minera. En contraste, el isótopo ^{204}Pb ha permanecido constante desde el origen de la tierra, ya que no es un producto de la descomposición de elementos radioactivos. La razón relativa entre los isótopos ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb varía de manera característica y constituye una especie de huella digital que permite identificar la fuente geográfica de extracción primaria de plomo. Además, dado que la razón de isótopos de plomo de la fuente original se mantiene aun después de aplicar los diferentes procesos industriales que incorporarán el plomo a los productos de uso común (como son baterías, pinturas, cables, o soldaduras, entre otros) es posible utilizar la razón de isótopos para identificar la fuente de exposición a plomo en poblaciones humanas que han estado expuestas a este tóxico.

2. Los elementos están formados por partículas subatómicas: protones, neutrones y electrones. Cada elemento tiene un número fijo de protones que determina sus propiedades químicas. En contraste, el número de neutrones puede variar sin alterar la características químicas de los elementos. Los isótopos de un elemento constituyen las combinaciones del elemento con un número diferente de neutrones que pueden ser diferenciados y cuantificados de acuerdo a su masa atómica, usando la técnica espectrometría de masas.

Esto es de gran importancia, ya que el tratamiento médico efectivo de la intoxicación por plomo depende en gran medida de la identificación y eliminación de la fuente de exposición.

La medición de isótopos estables de plomo se ha utilizado en estudios poblacionales para identificar y cuantificar la importancia relativa de diferentes fuentes de contaminación por plomo y, en algunos casos, para determinar la biodisponibilidad del plomo en suelos contaminados por este metal. El principio de aplicación de esta técnica se basa en las siguientes consideraciones:

- la absorción, distribución, metabolismo y excreción del plomo en el ser humano se realiza de manera idéntica para los cuatro isótopos estables;
- la proporción de isótopos de plomo en el ser humano permanece constante en el tiempo y refleja las fuentes de exposición concurrentes tanto endógenas y exógenas, y sólo se modifica si se incluye otra fuente de exposición con una razón isotópica diferente. En este último caso el perfil de isótopos resultante será una mezcla de las fuentes de plomo presentes en el medio ambiente;
- la determinación de la razón isotópica del plomo en la sangre de un individuo puede contribuir a la identificación de la fuente de exposición, siempre y cuando la razón isotópica del plomo presente en las fuentes potenciales sea diferente.

Con la finalidad de establecer la importancia de los minerales almacenados en la zona del Callao como fuente de exposición a plomo para los habitantes de esta zona y de distinguir la contribución de éstas de la que se origina de la gasolina con plomo se realizaron mediciones de isótopos estables del plomo extraído de muestras de: a) gasolina; b) minerales obtenidos en la zona de almacenamiento del Callao, c) aire, y d) sangre. Todas las mediciones de isótopos estables de plomo se realizaron en los laboratorios de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, de Atlanta, Estados Unidos de América (CDC, por siglas en inglés). La composición de isótopos se hizo mediante el método de vaporización electrotérmica con espectrometría plasmática de masas por inducción acoplada.³ En el cuadro 2 se presenta una descripción de las muestras estudiadas y un resumen de las principales estadísticas descriptivas.

Muestras de gasolina

Las muestras de gasolina se recolectaron a principios de 1999, para obtenerlas se visitaron 26 grifos distribuidos tanto en el Callao como en los distritos de Lima ubicados

cerca de las escuelas que participaron en el estudio. En cada uno de ellos se obtuvo 1 litro de gasolina, de 84 octanos (gasolina con plomo). Posteriormente, en los laboratorios de la Digesa se mezclaron las muestras obtenidas para cada marca (Mobil, Shell, YPF, Repsol y Texaco) y después se enviaron cinco muestras de 100ml de cada marca al CDC. Todas las muestras fueron recolectadas en tubos de plástico previamente lavados y libres de plomo. El promedio de la razón de isótopos ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) en las muestras estudiadas fue de 16.831 (desviación estándar, (DE)= 0.033; coeficiente de variación CV=0.19); los valores observados fueron muy similares para las diferentes marcas estudiadas: Mobil=16.789; Repsol=16.820; Shell=16.827; Texaco=16.836; y YPF=16.883.

Muestras de minerales

Las muestras de minerales se obtuvieron del interior del área de depósito durante una visita realizada

3. El método utilizado método de vaporización electrotrémica con espectrometría de masas por inducción acoplada (electrothermal vaporization inductively coupled plasma mass spectrometry) está descrito en detalle en Chaudhary-Webb M et al Atomic Spectroscopy 1998;19(5):156-160.

por los consultores y miembros del equipo de monitoreo ambiental de la DIGESA en noviembre de 1998. Las muestras se tomaron de la superficie de los montículos de minerales que se encontraban más cercanos a la zona limítrofe con el centro escolar María Reiche. Cada muestra fue de aproximadamente 100 g; se colectaron de manera independiente en tubos de plástico libres de plomo. La concentración promedio de plomo en las 5 muestras estudiadas fue de 5,531 ug/g; las cantidades observadas fueron de: no detectable, 100 ug/g, 6433 ug/g, 6743 ug/g y 8048 ug/g. El promedio de la razón de isótopos ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) en las muestras estudiadas fue de 18.60 (DE= 0.428, CV=2.3); los valores observados fueron 17.860; 18.604; 18.768; 18.860; y 18.910 respectivamente.

Muestras de aire

La DIGESA mantiene un programa continuo de monitoreo ambiental que incluye mediciones de 24 horas de PST (partículas suspendidas totales) y PM_{10} (partículas suspendidas con diámetro inferior a 10 micrómetros). El muestreo de partículas se realiza por el método de alto volumen, que consiste en hacer pasar un flujo de aire a

Cuadro 2
VALORES DE LA RAZÓN DE ISÓTOPOS DE PLOMO OBSERVADOS EN DIFERENTES MUESTRAS ESTUDIADAS EN LIMA Y LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO. (PERÚ 1999)

	Conc. de Pb	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Media (DE)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Media (DE)	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Media (DE)
Distrito de Breña. Alto tráfico vehicular, situado a 20 km al este del Callao.	0.087 (0.0251) u/m ³ (PM10)	0.0564 (0.0001)	0.8881 (0.010)	2.117 (0.014)
Distrito de Cercado de Lima. Alto tráfico vehicular, se encuentra situado a 22 km. Al este de Callao	0.366 (0.093) ug/m ³	0.0564 (0.0005)	0.881 (0.006)	2.119 (0.001)
Barrio de Chacaritas. Se encuentra rodeado por varios depósitos de minerales y dentro de la provincia Constitucional del Callao	13.17 (21.89) u/m ³	0.0532 (0.0007)	0.8358 (0.005)	2.059 (0.009)
Asentamiento humano de Puerto Nuevo en el Callao, frente a la zona de los depósitos	2.86 (2.36) u/m ³	0.0533 (0.0007)	0.8403 (0.003)	2.069 (0.007)
Muestras de gasolina con mayor volumen de venta en Lima y el Callao	0.75 g/L	0.0594 (0.0001)	0.9323 (0.0007)	2.160 (0.004)
Muestras de minerales del interior de área de depósito de minerales de CENTROMIN	5331 (3556) ppm	0.0537 (0.001)	0.8478 (0.015)	2.075 (0.009)
Muestras de sangre de niños con residencia en Lima	65 (1.68) ug/dL	0.0544 (0.0006)	0.8543 (0.005)	2.083 (0.008)
Muestras de sangre de niños con residencia en el asentamiento humano de Puerto Nuevo y barrio de Chacaritas	328 (7.76) ug/dL	0.05333 (0.0006)	0.8440 (0.002)	2.078 (0.004)

Num= Número de muestras estudiadas, media= media aritmética, DE= Desviación estándar

gran velocidad durante 24 horas, a través de un medio filtrante de fibra de vidrio en el que se retienen las partículas con diámetro dinámico entre 0.1 y 100 micrómetros. Una vez determinada la masa de material particulado en los filtros éstos se sometieron a análisis químicos en el que se incluyó la determinación de plomo. Del total de los filtros utilizados en el monitoreo ambiental entre junio 1998 y septiembre de 1999 se seleccionaron al azar 32, los cuales fueron enviados al CDC para determinación de isótopos de plomo. Los filtros seleccionados se distribuyeron de la siguiente manera respecto a la localización del área de monitoreo: Siete monitores en Centro educativo Inicial en el asentamiento del Puerto Nuevo; cinco en C.N. 5045 María Reiche. Av. Contralmirante Moras en el asentamiento de Puerto Nuevo; cuatro en Vivienda #54. Barrio Fiscal No. 1, chacaritas; Distrito del Callao; uno en Calle Huascar # 301. Barrio Fiscal No. 1 Chacaritas; distrito del Callao; uno en Calle Tercera #894, Barrio Fiscal No. 3 en Chacaritas; distrito del Callao; uno Superintendencia de Aduanas Marítima del Callao; dos en Calle Sexta 3 145-A. Barrio Fiscal N. 3, en Chacaritas; distrito del Callao; uno en Vivienda #61. Barrio fiscal No. 1 Chacaritas; distrito del Callao; cuatro Av. Abancay C2-Lima Cercado; tres en C.S.L. Rodríguez Dulanto-Comas y tres en Insituto Nacional del Niño-Breña.

Las concentraciones de plomo y de partículas variaron de manera importante entre los distritos estudiados (Figuras 5y6 y cuadro 2).

Las concentraciones más altas (que sobrepasan el valor recomendado de la Organización Mundial de la Salud de $1.5 \text{ ug}/\text{m}^3$) se observaron en el Barrio de Chacaritas (promedio de $13.1 \text{ ug}/\text{m}^3$; $DE= 21.89$) y las mínimas en Breña (promedio de 0.087 ; ug/m^3 ($DE=0.025$) ug/m^3 . Es importante hacer notar que los valores reportados para partículas y plomo deben ser interpretados con cautela, ya que algunos de estos valores representan determinaciones de partículas totales en suspensión (PST) y otros en partículas de 10 micrones (PM10). Además en la zona del barrio de Chacaritas se detectó un valor extraordinariamente alto ($73.49 \text{ ug}/\text{m}^3$) al excluir éste el promedio para esta zona fue de 7.01 ($DE=5.98$).

Los valores de isótopos también variaron en relación con el sitio de muestreo. Se identificaron dos patrones de isótopos que correspondieron con la localización geográfica de las muestras, a excepción de las del distrito de Comas (figura 7), que mostraron un patrón de isótopos muy parecido al observado en el Callao.

La semejanza observada entre las razones de isótopos entre estas zonas podría indicar que las partículas de los minerales que se almacenan en el Callao se desplazan hacia Comas y que éstas son detectadas en las muestras de partículas en suspensión en este lugar; sin embargo,

también podría indicar la existencia de depósitos de minerales en Comas. Esta última posibilidad se descarto ya que no existe evidencia o registros comerciales que indiquen la existencia de depósitos en esta zona. Las diferencias observadas entre las muestras ambientales del Callao y las recolectadas en Breña y Cercado, hace necesario también considerar la posibilidad de errores de muestreo. Un análisis de los equipos utilizados y fechas de muestreo evidenció que los equipos del Callao y Comas fueron compartidos, y que los muestreos en Comas se llevaron a cabo inmediatamente después de los realiza-

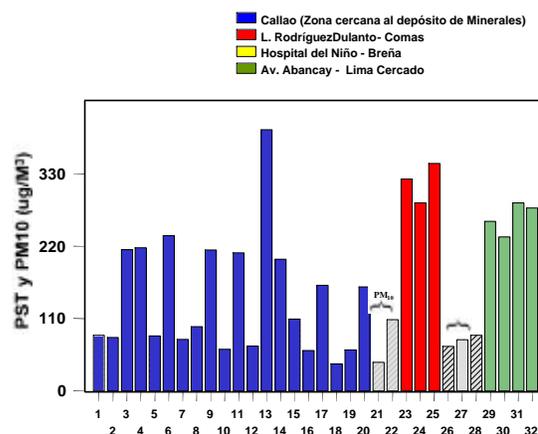


Figura 5. Concentración de partículas en las muestras ambientales estudiadas.

Fuente sistema de monitoreo ambiental DIGESA, 6/1998 a 9/1999. Las barras con asurado indican PM10

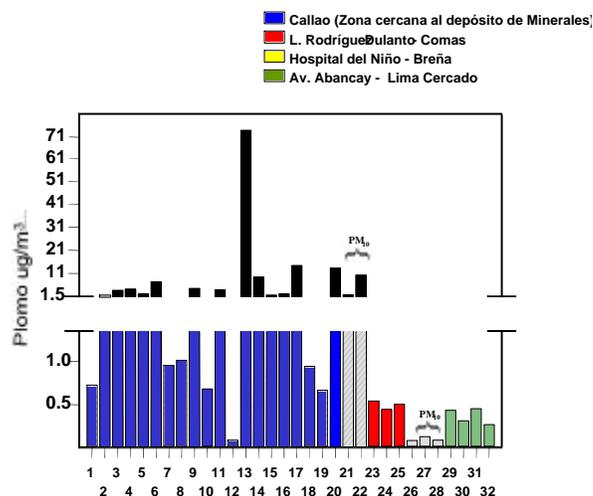


Figura 6. Concentración de plomo en las muestras ambientales estudiadas.

Fuente: sistema de monitoreo ambiental DIGESA 6/1998 a 9/1999. Las barras con asurado indican muestreos de PM10

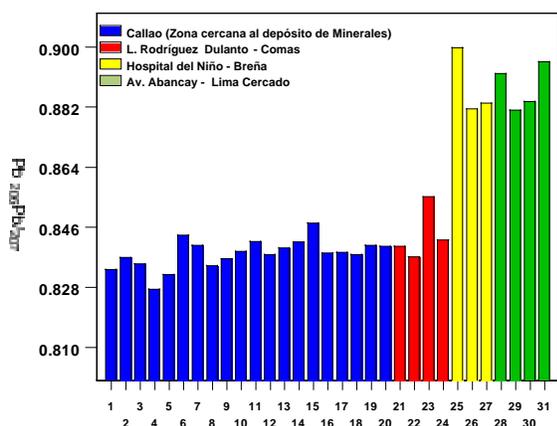


Figura 7. Razón de isótopos en las muestras ambientales estudiadas.
Fuente: sistema de monitoreo ambiental DIGESA 6/1998 a 9/1999.

dos en el Callao, por lo que la posibilidad de contaminación de los filtros de Comas con polvos del Callao podría ser también una explicación, en especial, porque las concentraciones de plomo en el Callao son mucho más altas (7.5 ug/m³) que las observadas en Comas (0.5 ug/m³), por lo que una pequeña contaminación residual de los equipos podría haber alterado los resultados de isótopos de plomo observados en Comas. Sobre la base de estas consideraciones y la verificación de que no existen centros de almacenamiento de minerales en el Distrito de Comas se decidió no incluir los datos correspondientes a esta zona en el análisis estadístico. Sin embargo, es importante realizar muestreos adicionales con el fin de entender mejor la dinámica de dispersión de las partículas de los depósitos ubicados en el Callao.

Muestras de sangre

Con el fin de estudiar la distribución de isótopos de plomo en niños con niveles elevados de plomo en sangre se seleccionaron al azar 20 escolares del grupo que participó en el estudio original. Los criterios de inclusión para esta muestra fueron: a) tener valores de plomo en sangre superiores a 20 ug/dl, b) residencia permanente en el Distrito del Callao, y c) aceptar voluntariamente participar en el estudio.

Como grupo de comparación se seleccionaron 10 niños con niveles bajos de plomo en sangre y que residan permanente en los distritos de Lima. La edad promedio de los participantes en esta fase del estudio fue de 8.5 años (DE=1.3). Las concentraciones de plomo en sangre fueron 32.8 ug/dL (DE= 7.76) y 6.55 ug/dL (DE=1.68) para los niños del Callao y los distritos de Lima, respectivamente.

Análisis de los resultados de la razón de isótopos

La distribución de razones de isótopos del plomo encontrado en las diferentes muestras estudiadas mostró variaciones importantes (figura 8). Observamos que la razón de isótopos del plomo de la gasolina difiere de manera significativa (p<0.001) de la razón de isótopos del plomo que compone el resto de las muestras estudiadas. La razón de isótopos del plomo de la gasolina tiene un coeficiente de variación muy pequeño y un patrón de isótopos similar al reportado para el plomo de origen australiano, que se ha descrito con un valor de ²⁰⁶Pb/ ²⁰⁴Pb de 17.0⁴, por lo que es probable que el plomo que se adiciona a la gasolina utilizada en Perú sea de origen australiano.

En las figuras 9 y 10 se presenta el análisis comparativo de la distribución de la razón de isótopos observados en las muestras de gasolina, minerales y aire. Al observar estos gráficos se puede concluir que la razón de isótopos del plomo encontrado en la gasolina es muy diferente a la que se documentó en las muestras de minerales obtenidas del depósito de la zona del Callao (figura 9).

La composición de isótopos de plomo en las muestras de aire mostró diferencias importantes en relación con el sitio de muestreo. Los valores observados para la razón de isótopos en las muestras aire de zona del Callao fueron estadísticamente diferentes (diferencia de 5.7%; P<0.001) de los documentados para la zona de Lima, lo que sugiere la existencia de al menos dos fuentes de contaminación por plomo, que contribuyen diferencialmente en cada zona geográfica. En la figura 10 se puede observar que los patrones de isótopos de plomo en muestras de aire del Callao reflejan casi de manera exclusiva los isótopos observados en las muestras de minerales, mientras que el patrón de isótopos que se observó en las muestras de aire de Lima refleja un punto intermedio entre el patrón de isótopos de la gasolina y el observado en la muestra de minerales. La relación observada sugiere que las partículas que se desprenden de los depósitos de almacenamiento ubicados en el Callao se desplazan grandes distancias y que el plomo que compone estas partículas se mezcla en la atmósfera con el plomo emitido por la combustión de gasolina y que este fenómeno se refleja en la composición de mezcla de isótopos que se observa en las muestras de aire de Lima.

4. Gulson BL et al. J Lab Clin Med 1998;131:324-329.

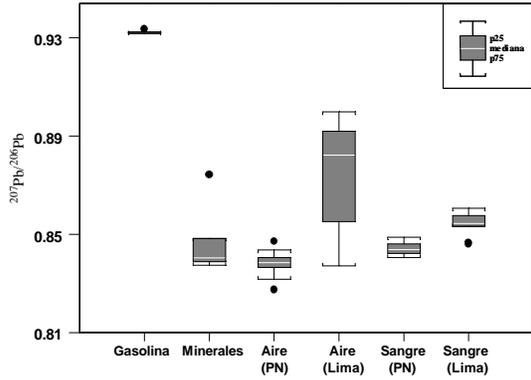


Figura 8. Diagramas de caja para la razón de isótopos de plomo $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ observada en las diferentes muestras estudiadas en Lima y Callao.

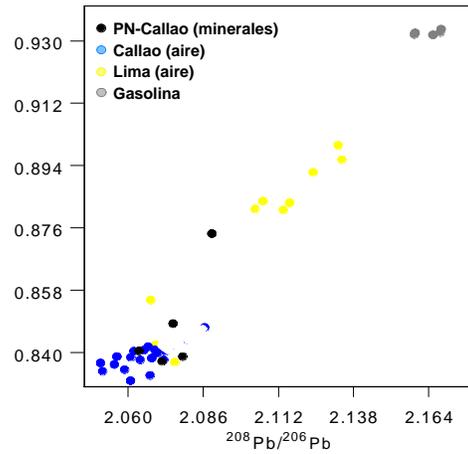


Figura 10. Distribución de la razón de isótopos estables de plomo observado en gasolina, partículas en suspensión y minerales. Perú 1999-2000

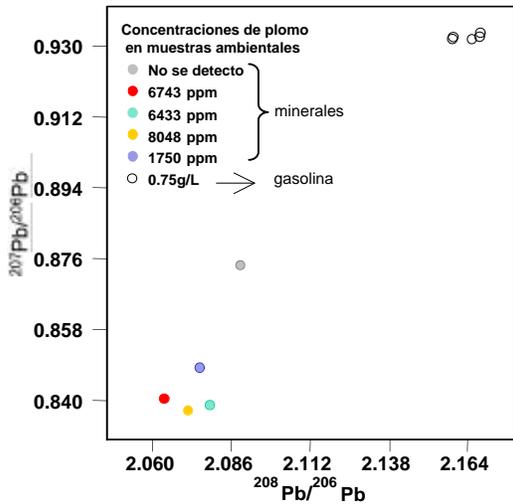


Figura 9. Distribución de la razón de isótopos estables de plomo observado en gasolina y minerales. Perú 1999-2000

Relación entre las fuentes de plomo (aire, gasolina y minerales) y el plomo en sangre

Al comparar la razón de isótopos de plomo entre los niños con residencia en el Callao y residencia en Lima se encontraron diferencias estadísticamente significativas lo que sugiere que estos grupos están expuestos de manera diferencial a las diversas fuentes de plomo. Más aún la variabilidad isotópica observada en las muestras de sangre explicó cerca del 40% de la variabilidad observada en las concentraciones de plomo en sangre en los grupos estudiados, lo

que ciertamente apoya la hipótesis sobre la existencia de dos fuentes de contaminación diferentes, una para los niños del Callao debido a el plomo de las partículas de los minerales almacenados en la zona y, la otra, para los niños que viven en los diferentes distritos de Lima.

En la figura 11, se muestra la relación entre los isótopos de plomo encontrados en las muestras de gasolina, de minerales y de sangre. Se observa que la razón de isótopos en sangre, tanto para el grupo de niños del Callao como para el grupo de los distintos distritos de Lima, refleja, en mayor medida, el patrón de isótopos documentado en las muestras de minerales, y no la que se ha observado para el plomo de la gasolina.

Los resultados del análisis estadístico (cuadro 3) indican que existen diferencias estadísticamente importantes entre estos grupos. La razón de isótopos del plomo en sangre de los niños con residencia en el Callao no es estadísticamente diferente de la observada en las muestras de minerales ni de la observada en el aire del Callao; pero, en contraste, sí lo es de la razón de isótopos observada en sangre de los niños que habitan en los distritos de Lima o de la observada en la muestra de aire de Lima. Esto último sugiere que el plomo que se encuentra en la sangre de los niños con residencia en el Callao se origina principalmente de los minerales que se almacenan en esta zona. Los datos también sugieren que el plomo que se encuentra en la sangre de los niños de los distritos de Lima esta formado por una mezcla del plomo que se origina de los minerales almacenados en el depósito del Callao y del que se deriva de la contaminación atmosférica originada por la combustión de gasolina con plomo.

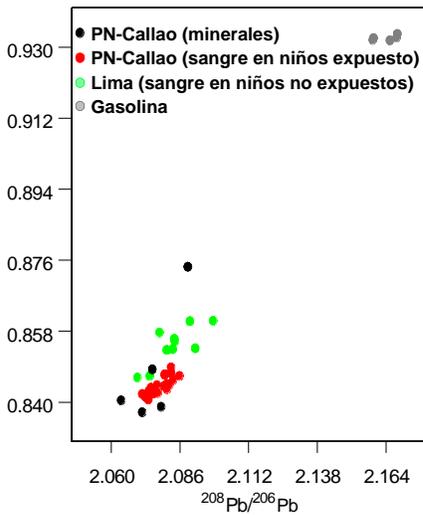


Figura 11. Distribución de la razón de isótopos estables de plomo observado en gasolina, sangre y minerales. Perú 1999-2000

Con los resultados obtenidos no es posible estimar cuantitativamente la importancia de las fuentes documentadas en la zona. Sin embargo, el análisis gráfico de las razones de isótopos estimadas para los diferentes medios analizados sugiere que las partículas de los depósitos pueden ser desplazadas grandes distancias y que se mezclan en la atmósfera con el plomo derivado de la gasolina. En la figura 13 se presentan datos históricos sobre la concordancia de isótopos de plomo en muestras de aire y gasolina para ciudades en las que la principal fuente de contaminación fue la gasolina con plomo, en esta figura se aprecia la gran concordancia que existe en la composición de isótopos documentados en aire y gasolina cuando la única fuente ambiental es el plomo de la gasolina.

En la figura 14, se muestra un análisis comparativo con lo observado en Lima y el Callao. Los datos sugieren que además del plomo de la gasolina existen otras fuentes importantes, ya que la composición del aire no refleja una fuente única, sino que representa un patrón que sugiere la mezcla de isótopos de diferentes fuentes. Esto también

Cuadro 3

VALORACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS DIFERENCIAS OBSERVADAS EN LA COMPOSICIÓN DE ISÓTOPOS DE PLOMO EN LOS DIFERENTES MEDIOS ESTUDIADOS

Comparación	Diferencia	Diferencia (%)	Valor p
Razón de isótopos en la sangre de niños en Lima vs. la encontrada en la sangre de los niños con residencia en el distrito del Callao	-0.3585	21	p<0.001
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en el Callao vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de aire de Lima	-1.0217	54	p<0.001
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en el Callao vs. razón de isótopos encontrados en las muestras de aire del Callao	0.0328	0.01	0.537
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en el Callao vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de gasolina	-1.913	102	p<0.001
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en el Callao vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de minerales	0.0462	0.24	0.591
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en Lima vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de aire de Lima	-0.6631	36	p<0.001
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en Lima vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de aire de Callao	0.3913	21	p<0.001
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en Lima vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de gasolina	-1.554	84	p<0.001
Razón de isótopos en la sangre de niños con residencia en Lima vs. razón de isótopos encontrada en las muestras de minerales	0.4047	22	p<0.001
Razón de isótopos encontrada en las muestras de aire del Callao vs. la encontrada en Lima	1.03	58	p<0.001
Razón de isótopos encontrada en las muestras de aire del Callao vs. la encontrada en los minerales	0.16	0.8	0.26
Razón de isótopos encontrada en las muestras de aire de Lima vs. la encontrada en los minerales	0.87	49	p<0.001

es apoyado por la información que se deriva de la razón de isótopos observados para el plomo en sangre. Si las partículas que se originan en los depósitos de minerales localizados en el del Callao no contaminaran la atmósfera en Lima, sería de esperar que el patrón de isótopos del plomo en sangre de los niños con residencia en esta zona reflejara, en mayor medida, el del plomo de la gasolina, esto bajo la hipótesis de que no existieran otras fuentes ambientales de contaminación por plomo. El patrón de mezcla observado en las muestras de aire de Lima y en la sangre de los niños que habitan fuera del Callao sugiere que los depósitos de minerales tienen un radio de influencia mayor al de la zona del Callao. Sin embargo, aún se requiere mayor información para poder determinar con

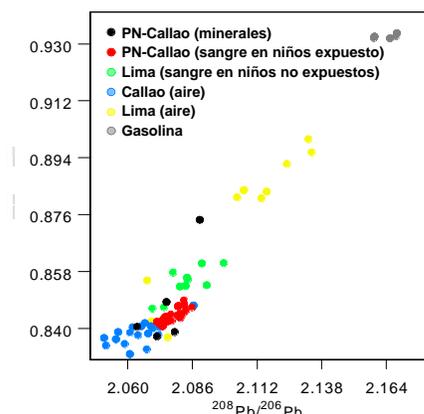


Figura 12. Distribución de la razón de isótopos estables de plomo observado en gasolina, partículas en suspensión, sangre y minerales. Perú 1999-2000

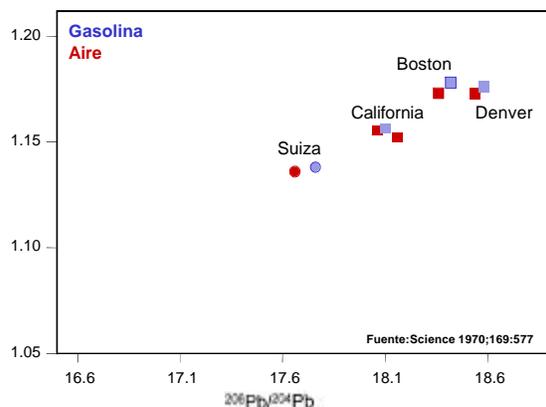


Figura 13. Distribución de la razón de isótopos en muestras de aire y gasolina en Suiza, California, Boston y Denver, EUA

exactitud el impacto real de los depósitos para los habitantes de los distritos de Lima.

De los resultados analizados se puede confirmar que los depósitos de minerales son la principal fuente de exposición a plomo para los habitantes de la zona donde se ubican éstos.

Muestreo ambiental

Con el fin de evaluar el grado de contaminación ambiental en la zona de los alrededores del área de almacenamiento de minerales se diseñó un muestreo ambiental para cumplir con los siguientes objetivos:

- 1) Identificar la magnitud de la contaminación ambiental y su extensión en el área del Callao que se encuentra en la zona de influencia de los depósitos de minerales;
- 2) Determinar los niveles de contaminación en las zonas alejadas del foco de exposición;
- 3) Determinar la existencia de otras fuentes de exposición a plomo, y
- 4) Determinar la asociación entre los niveles de plomo en muestras ambientales y las concentraciones de plomo en sangre en los niños que participaron en el estudio basal.

El muestreo ambiental incluyó la medición de plomo en partículas totales en suspensión (PST) y en muestras de suelo de la zona del Callao en el área de influencia de los depósitos de minerales. También abarcó muestras de polvo del interior de los hogares que incluyeron: polvo del piso o de la superficie de algunos muebles; polvo de las manos de los niños; del agua utilizada para consumo

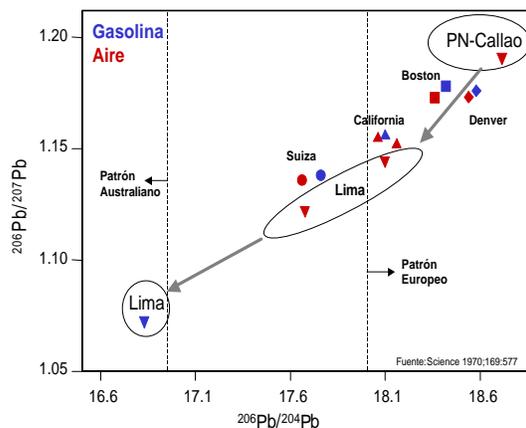


Figura 14. Distribución de la razón de isótopos en muestras de aire y gasolina en Lima, Callao, (en la zona cercana a los depósitos de minerales) Suiza y California, Boston y Denver, EUA

humano y del suelo del exterior de las casas. La selección de las viviendas se hizo mediante un muestreo aleatorio de las casas de un subgrupo de participantes en el estudio basal. Como criterio de inclusión se utilizó el nivel de plomo en sangre, así se seleccionaron al azar 100 niños con niveles de plomo superiores a 20 ug/l y 50 con niveles por debajo de 10 ug/dl. En la muestra final se incluyeron muestras de los hogares de 85 niños del grupo de plomo en sangre alto (concentración promedio= 38.8 ug/dl; DE=12) y de 44 del grupo de plomo en sangre bajo (concentración promedio =5.8 ug/dl; DE=2.0).

La toma de muestras ambientales se llevó a cabo siguiendo los procedimientos recomendados por la Organización Panamericana de la Salud.⁵ Las muestras de polvo se obtuvieron recuperando el polvo de una superficie de un pie cuadrado en el piso del interior de las viviendas, de la superficie de muebles y de las manos de los niños usando toallas húmedas. Las muestras de suelo se obtuvieron del área de juego de los niños y se tomaron directamente de la superficie sin rebasar los 2 cm de profundidad y en cada sitio se realizó una muestra compuesta de cinco puntos. Las muestras de agua se recolectaron en frascos libres de plomo y se tomaron del agua identificada por los participantes como el agua de uso para consumo. Todas las determinaciones de plomo se realizaron en los laboratorios de la DIGESA. Las muestras de agua, polvo y suelo fueron procesadas por voltametría anódica la cual se llevó a cabo utilizando un equipo PalinTest. El plomo de muestras de PST se determinó por absorción atómica con el método de flama.

En el cuadro 4 se presenta un resumen de los principales resultados del muestreo ambiental en el que se pueden apreciar las importantes diferencias entre las zonas estudiadas.

Las concentraciones de plomo observadas fueron significativamente ($P < 0.01$) más altas en la zona del Callao cercana a los depósitos de minerales (figura 15, cuadro 4).

El promedio en esta zona fue de 7.55 ug/ m³ (el valor recomendado de la OMS es de 1.5 ug/ m³), mientras que para las zonas fuera del área de influencia del depósito las concentraciones de plomo en aire fueron de 0.34 ug/ m³, es importante mencionar que en este último grupo se incluyeron mediciones del centro de Lima que pudieran contener concentraciones más altas que en el

resto de la ciudad debido al alto tráfico vehicular que se observa en esta zona.

Más aún, los niveles encontrados en la zona de influencia de los depósitos de minerales sobrepasan, con mucho, los promedios anuales observados para Lima centro durante los últimos años (figura 15).

Los hallazgos del monitoreo ambiental indican claramente que la zona cercana a los depósitos tiene las concentraciones de plomo en aire más altas y que éstas sobrepasan en una magnitud muy significativa a la observada en otras áreas de Lima, lo que indica claramente la existencia de un foco puntual de contaminación por plomo en esta zona.

Muestras de agua

Se obtuvieron 47 muestras de agua, la concentración promedio de plomo en agua fue de 3.8 ppb valor, que está por debajo del recomendado por la OMS que es de 7ppb. Se detectaron valores superiores a los 7ppb en el 14.4% (n=7) de las muestras, de éstas cinco corresponden a hogares del Callao y se realizaron en depósitos de agua que no estaban bien cubiertos. Las características de estas muestras se describen en el **cuadro 5**.

Los datos del muestreo de agua descartan la posibilidad de que ésta sea una fuente de exposición para las personas que habitan en el Callao en la zona de influencia de los depósitos de minerales (**figura 16**). Sin embargo, dado que algunos resultados sobrepasaron el valor recomendado de 7 ppb sería conveniente ampliar el muestreo en otras áreas de Lima para dimensionar la importancia del agua como fuente de exposición a plomo.

Muestras de suelos

Para investigar el grado de contaminación por plomo en las zonas residenciales de los alrededores de los depósitos de minerales se diseñó una estrategia de muestreo para recolectar especímenes de suelo con un esquema de distancias radiales. Para este fin los sitios potenciales de muestreo se identificaron en un mapa de la zona del Callao trazando distancias que progresivamente se alejaban de las zonas de almacenamiento de minerales.

Se anticipó que las concentraciones de plomo en suelo disminuirían en la medida que el sitio de muestreo se alejara de la zona del depósito de minerales, mostrando un patrón de exposición y dispersión compatible con el de una fuente de contaminación puntual. Con el fin de ampliar la información y conocer las concentraciones de plomo en suelo en zonas más alejadas también se incluyeron algunos puntos de muestreo en Lima.

Se obtuvieron 41 muestras de suelo en las que la concentración promedio de plomo fue de 542 ug/g de

5. Careón Valencia T, López Carrillo L, Romieu I. Manual de procedimiento en la toma de muestras biológicas y ambientales para determinar niveles de plomo. Centro Panamericano de Ecología y Salud. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Metepec, Estado de México. México 1995.

Cuadro 4
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO EN DIFERENTES MUESTRAS AMBIENTALES.
LIMA Y EL CALLAO, PERÚ 1999

	n	Media	DE	Min	Max	P25	P75
Plomo en Aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
Aire Callao (zona de influencia de los depósitos de minerales)	22	7.55	15.3	0.7	73.4	0.98	7.8
Aire Lima	10	0.32	0.18	0.7	0.548	0.11	0.45
Suelo Callao (zona de influencia de los depósitos de minerales)	41	542	742	52	2859	98	623
Muestras de hogares							
Polvo ($\mu\text{g}/\text{pie}^2$)							
Callao (zona de influencia de los depósitos de minerales)	114	0.65	1.33	0.04	7.96	0.08	0.61
Lima	56	0.34	1.81	0.04	13.6	0.04	0.09
Suelo ($\mu\text{g}/\text{g}$)							
Callao (zona de influencia de los depósitos de minerales)	98	783	554	103	2311	395	988
Lima	6	432	512	82	1206	97	121
Muestras de agua (ppb)							
Callao (zona de influencia de los depósitos de minerales)	36	35	209	2	12	2	3
Lima	11	5.1	58	2	22	2	5

N: número de muestras
Media: promedio de aritmético
DE: desviación estándar
Min: valor mínimo
Max: valor máximo
P25: valor del percentil 25
P75: valor de percentil 75
Ppb: partes por billón

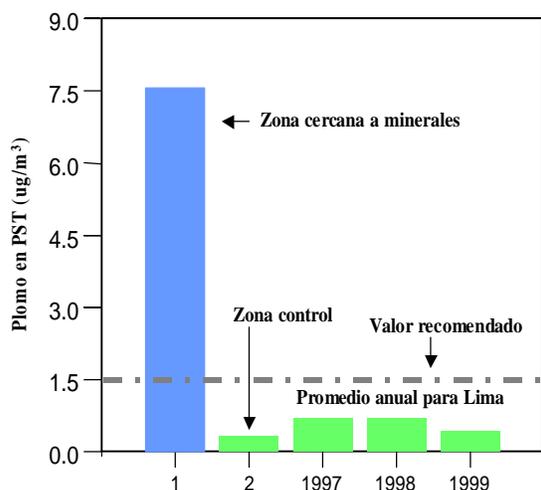


Figura 15. Concentraciones promedio de plomo en aire en la zona cercana a los depósitos de minerales, en la zona control y promedios anuales observados en Lima Centro.

suelo ($\text{DE}=742$). La concentración de plomo en el suelo disminuyó significativamente ($P<0.01$) conforme aumentó la distancia del punto de muestreo a los sitios de almacenamiento de minerales (**Cuadro 6, figura 17**), se observó una caída exponencial de las concentraciones de

Cuadro 5
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE AGUA
CON VALORES SUPERIORES A LOS 7 PPB

Sitio de muestreo	Descripción de la muestra	Concentración de plomo
Callao (zona de influencia de los depósitos de minerales)	Bidones de plástico de 30 L	7
	Caño de la red pública	9
	Recolección en tina	12
	Recolección en cilindros	12
	Bidón de plástico	11.5
La Victoria	Caño de red pública	22
	Caño de red pública	7

plomo en suelo conforme aumentó la distancia del punto de muestreo al centro de almacenamiento de los minerales (**figura 18**). Los resultados del muestreo de suelo apoyan ampliamente la existencia de una fuente de exposición local que coincide con la zona de depósitos de minerales.

Muestras de polvo y de suelo de los hogares

En total se obtuvieron 170 muestras de polvo. Las concentraciones de plomo y su distribución por tipo de superficie y sitio de muestreo se presenta en el cuadro 7. Se puede observar que las concentraciones de plomo fueron signifi-

cativamente más altas en el interior de las casas ubicadas en la zona de influencia de los depósitos de minerales (figura 19).

Las concentraciones observadas fueron de 0.061 ug y 0.52 ug para muebles y de 0.45 ug/pie² y 0.83 ug/pie² para polvo del piso para Lima y la zona de influencia de minerales en el Callao, respectivamente (cuadro 7, figura 20).

El contenido de plomo medido en las manos de los niños fue mayor para la zona de influencia de los depósitos, sin embargo, el reducido número de niños estudiado en Lima (n=2) no permite una evaluación confiable de esta diferencia. (cuadro 7)

En total se estudiaron 82 muestras de plomo en suelos, las concentraciones fueron 2.3 veces más altas en la zona de influencia de los depósitos de minerales (figura 21, mapa 3).

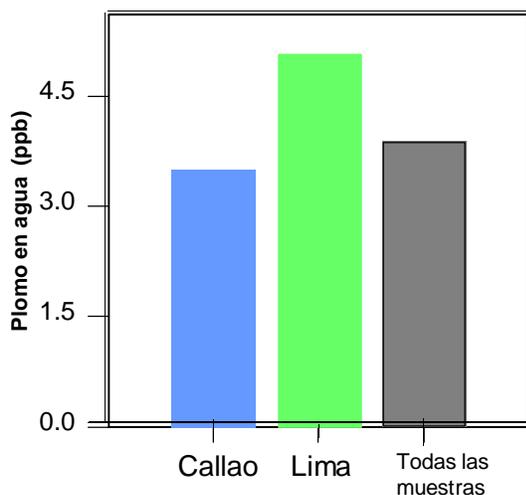


Figura 16. Concentración promedio de plomo en agua en Lima y Callao en la zona cercana al depósito de Minerales; Perú 1999.

Cuadro 6

VALORES OBSERVADOS EN LAS MUESTRAS DE SUELO DEL CALLAO EN EL ÁREA CERCANA A LOS DEPÓSITOS DE MINERALES. PERÚ, 1999

Distancia al depósito de minerales	n	Plomo(ug/g)	DE
>300(m)	5	1536	1188.5
300-600	10	777	791
601-900	13	369	468
>900	13	156	163
Total muestras del Callao	41	542	742
Muestras de minerales*	4	5331	3556

DE: Desviación estándar

N: número de muestras

* excluye la muestra con valores por debajo del límite de detección

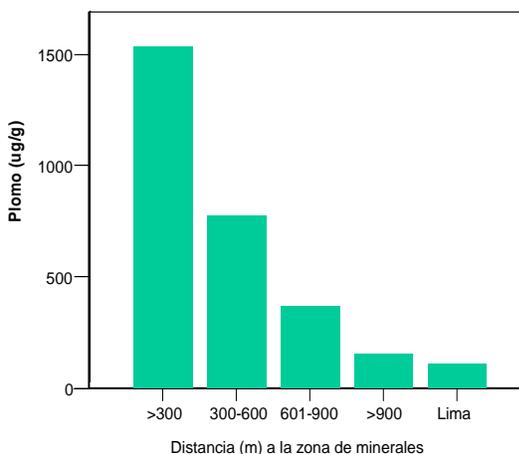


Figura 17. Relación entre la distancia a la zona de depósito de minerales y la concentración de plomo en suelo.

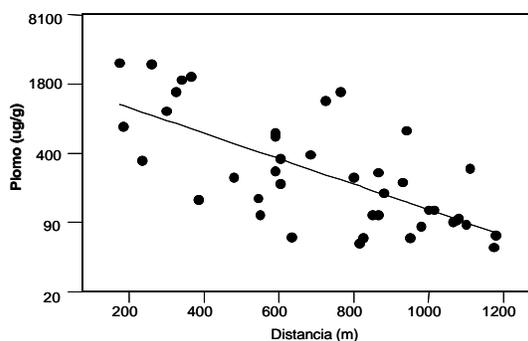


Figura 18. Distancia a la zona de almacenamiento de minerales y concentración de plomo en suelo. Los valores de plomo están en escala log-e

Los niveles de plomo en sangre se asociaron significativamente con las concentraciones de plomo en polvo y en suelo (figuras 22 y 23). En su conjunto estas variables explicaron el 40% de la variabilidad observada en los niveles de plomo en sangre. El modelo multivariado de predicción estima que por cada 1-ug de plomo en el polvo del suelo en el interior del hogar los niveles de plomo en sangre aumentarían en 6.2 ug/dl, mientras que por cada 100 ug/g de plomo en suelo del exterior de la vivienda los niveles de plomo en sangre aumentan 1.1 ug/dl. La asociación positiva entre los niveles de plomo en sangre y las concentraciones de plomo en suelo y polvo se puede observar gráficamente en las figuras 22 y 23.

De igual manera, cuando se analizó la relación geográfica entre los niveles de plomo en sangre y la locali-

zación de la vivienda en relación con el sitio de muestreo se identificó una asociación positiva (mapa 2). Los valores de plomo en sangre altos se concentraron en las cercanías de las zonas de depósito de minerales.

Resultados del muestreo en las zonas residenciales cercanas a los depósitos de minerales

El objetivo principal de esta parte del estudio fue el de establecer el nivel de exposición a plomo entre los residentes de la zona residencial que se encuentra dentro del área de influencia directa de los depósitos de minerales en el Callao. En esta sección se presentan los resultados de una encuesta realizada en los barrios de Chacaritas, Ciudadela Chalaca y Frigorífico.

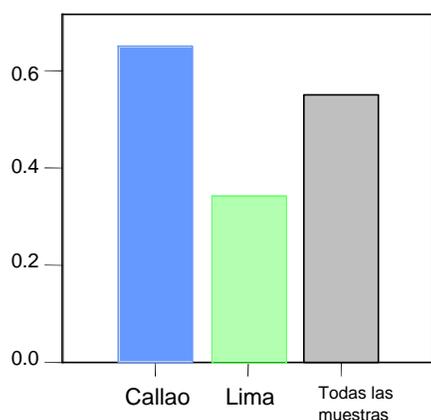


Figura 19. Concentración promedio de plomo en polvo en Lima y Callao en la zona cercana al depósito de Minerales; Perú 1999.

En el estudio se incluyeron niños de seis meses a 10 años de edad con residencia en los barrios de Frigorífico, Chacaritas y Ciudadela Chalaca. La selección de la población en estudio se hizo con base en un muestreo por área de residencia. Para esto se identificaron los niños por cada vivienda y su localización con respecto a los depósitos de concentrados de minerales; en un segundo paso se realizó un muestreo sistemático, con el fin de representar todas las áreas de los diferentes barrios incluidos en el estudio. En el estudio inicialmente se programó a 10% de la población de niños entre los seis meses y nueve años; sin embargo, esto no fue posible debido a que no todos los niños seleccionados asistieron a la evaluación. Para facilitar la realización del estudio se contó con la participación de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental del Callao, (DESA, Callao) cuya directora convocó a una reunión a los dirigentes de estas localidades para explicarles los propósitos del estudio y solicitar su colaboración y permiso de los padres de familia para poder estudiar a sus hijos.

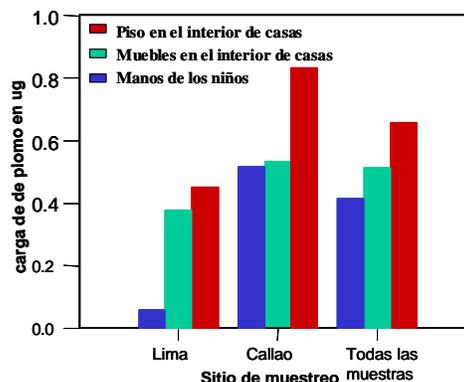


Figura 20. Concentración promedio de plomo en polvo en diferentes superficies para Lima y Callao en la zona cercana al depósito de Minerales; Perú 1999.

Cuadro 7
PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL CONTENIDO DE PLOMO EN POLVO DE DIFERENTES SUPERFICIES Y SUELO DE ACUERDO CON EL SITIO DE MUESTREO

	Manos de los niños ug	Mueblesug	Pisoug/pie ²	Sueloug/g
Lima				
Media (DE)	0.380(0.15)	0.061(0.039)	0.451(2.1)	356(569)
Número de muestras	2	15	39	4
Zona de Influencia Media (DE)	0.534(0.41)	0.52(1.16)	0.834(1.66)	841(570)
Número de muestras	15	52	47	78
	p=0.68	p<0.01	p<0.01	p<0.01

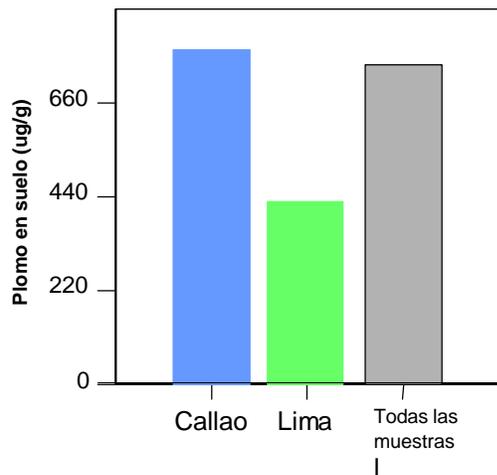
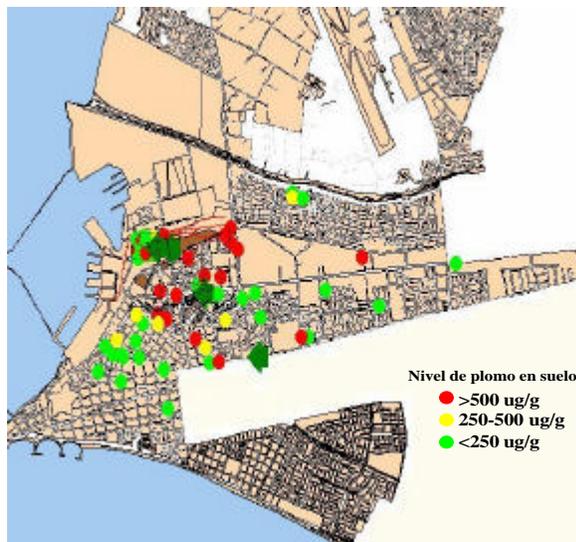


Figura 21. Concentración promedio de plomo en suelo en Lima y Callao en la zona cercana al depósito de Minerales; Perú 1999.



Mapa 2. Niveles promedio de plomo en suelo (ug/g) de acuerdo con el sitio de muestreo en el Callao en la zona cercana al depósito de Minerales; Perú 1999.

La toma y medición de plomo en sangre se realizó en los locales comunes de Chacaritas y Ciudadela Chalaca y en el parque comunal de Frigorífico. Los padres o personas responsables del cuidado de los niños acudieron a los lugares antes mencionados, donde se les aplicó un breve cuestionario que contenía preguntas relacionadas con las exposiciones potenciales a plomo y sus posibles efectos adversos en el comportamiento y el rendimiento escolar de los niños. El plomo se determinó en muestras de sangre capilar por medio de voltimetría anódica portátil (Lead Care). Todos los participantes recibieron sus resultados y consejería por parte del médico del proyecto, quien les daba

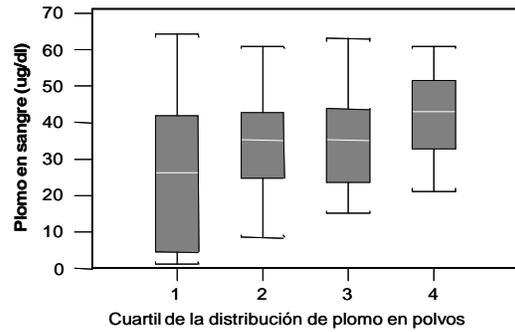


Figura 22. Relación entre plomo en sangre y plomo en polvo.

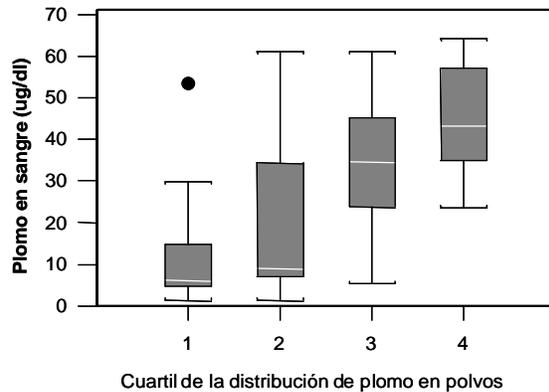
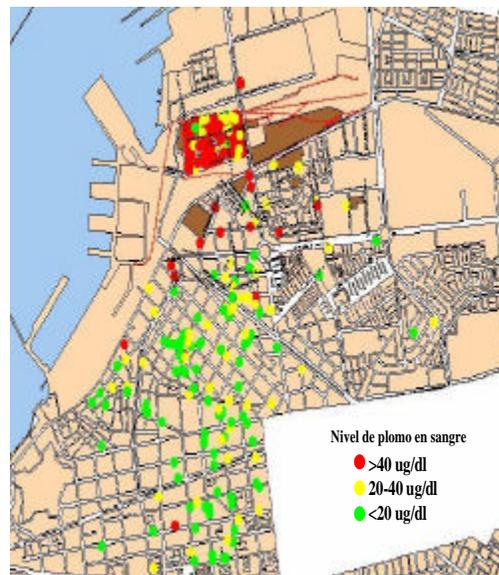


Figura 23. Relación entre plomo en sangre y plomo en polvo



Mapa 3. Niveles promedio de plomo en sangre (ug/dl) en población infantil de acuerdo con la localización del hogar en el Callao en la zona cercana al depósito de Minerales; Perú 1999.

una explicación sobre los niveles de plomo encontrados y sobre cómo disminuir la exposición al metal.

Durante el periodo comprendido entre marzo y abril de 1999 se estudiaron 254 niños. El promedio de edad de los participantes fue de 4.2 años, con una desviación estándar (DE) de 2.4 años. De la muestra estudiada 52.3% correspondió al sexo masculino. En la población de estudio el promedio de plomo en sangre fue de 23 µg/dl (DE= 12.1; media geométrica =19.9. µg/dl). No se observaron diferencias importantes en relación con la edad (cuadro 8). Del total de participantes, 86.2, 53.7 y 9.8% presentaron niveles de plomo en sangre por arriba de los 10, 20, y 40 µg/dl, respectivamente. Se observaron ligeras diferencias (P=0.02) en los niveles de plomo en sangre entre las áreas de estudio (cuadro 9, figura 24), las cifras más altas se registraron en el barrio de Ciudadela Chalaca (promedio=25 µg/dl) y las más bajas en el barrio de Frigorífico (promedio=19.5).

Con el fin de evaluar la exposición ambiental a plomo asociada a patrones de comportamiento del tipo mano-boca, se realizaron algunas preguntas a los padres o a la persona responsable del cuidado de los niños. Las preguntas interrogaban sobre la frecuencia con la que el niño comía tierra, chupaba o mordía lápices, o bien, se llevaba cuentos, juguetes, plastilina o crayolas a la boca (cuadro 10).

De las variables investigadas, el hábito de comer tierra y chupar los lápices se asoció con un incremento estadísticamente significativo en los niveles de plomo en sangre (cuadro 10). De las personas entrevistadas 20.6 % contestaron afirmativamente que sus niños tenían el hábito de comer tierra con cierta frecuencia, de tal modo que en este grupo se observó un exceso de 5.2 µg/dl de plomo en sangre. De igual forma, los participantes que refirieron morder o chupar los lápices tuvieron concentraciones de plomo en sangre más elevadas. Al considerar simultáneamente los comportamientos anteriormente descritos y ajustar las diferencias en los niveles de plomo en sangre según la edad y el sexo únicamente los hábitos de comer tierra y chupar lápices permanecieron como predictores estadísticamente significativos de los niveles de plomo en sangre; el primero se asocia con un incremento de 4.9 µg/dl, y el segundo, con un incremento de 4.4 µg/dl.

Los resultados respecto a las variables asociadas con la exposición de los participantes al tráfico vehicular se resumen en los cuadro 8. Se indagó sobre el tipo de transporte utilizado por el participante para asistir a la escuela, los tiempos de espera y la ubicación de la vivienda. En general los datos muestran que entre más tiempo se pasan en exteriores mayores son los niveles de plomo en sangre.

Cuadro 8
DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PLOMO EN SANGRE Y PORCENTAJES DE PARTICIPANTES CON VALORES SUPERIORES A LOS 10 Y 20 UG/DL SEGÚN GRUPO DE EDAD.

ENCUESTA DE NIVELES DE PLOMO EN SANGRE. CHACARITAS, CIUDADELA CHALACA Y FRIGORIFICO, PERÚ 1998-99.

Grupos de edad (años)	n	Media (ug/dl)	Mediana DE (ug/dl)	p25 (ug/dl)	p75 (ug/dl)	pbs10 (ug/dl)	pbs20 (%)	
1	37	20.18	12.14	196	11.3	235	784	486
2	37	26.87	10.9	249	182	364	946	676
3	39	24.38	12.88	198	154	302	974	487
4	29	26.96	16.24	224	148	332	862	586
5	28	25.50	11.14	25.35	169	329	929	643
6	27	19.94	8.75	212	11.1	266	815	519
7	29	18.53	10.39	172	98	253	724	414
8	16	20.79	11.18	1865	118	290	813	438
9	6	18.88	10.71	166	104	256	833	333
10	6	23.02	9.62	26.95	120	309	833	667

Total*0* 254

N: Número de participantes
Media: Media aritmética
DE: Desviación estándar
p-25: Valor limite del percentil 25
p-50: mediana
p-75: Valor limite del percentil 75
Pbs>10: Porcentaje de participantes con niveles de plomo mayores a 10 ug/dl
Pbs>20: Porcentaje de participantes con niveles de plomo mayores a 20 ug/dl

Cuadro 9

DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PLOMO EN SANGRE Y PORCENTAJES DE PARTICIPANTES CON VALORES SUPERIORES A LOS 10 Y 20 UG/DL SEGÚN DISTRITO DE RESIDENCIA. ENCUESTA DE NIVELES DE PLOMO EN SANGRE. CHACARITAS, CIUDADELA CHALACA Y FRIGORIFICO, PERÚ 1998-99.

Distrito de residencia	n	Media (ug/dl)	Mediana DE (ug/dl)	p25 (ug/dl)	p75 (ug/dl)	Pbs10 (%)	pbs20 (%)	
Chacaritas	103	226	103	203	156	286	903	505
Frigorifico	51	195	92	200	11.1	268	765	490
Ciudad Chalacas	100	252	145	215	144	336	870	590

Total 254

N: Número de participantes
Media: Media aritmética
DE= Desviación estándar
p-25: Valor limite del percentil 25
p-50: mediana
p-75: Valor limite del percentil 75
Pbs>10: Porcentaje de participantes con niveles de plomo mayores a 10 ug/dl
Pbs>20: Porcentaje de participantes con niveles de plomo mayores a 20 ug/dl

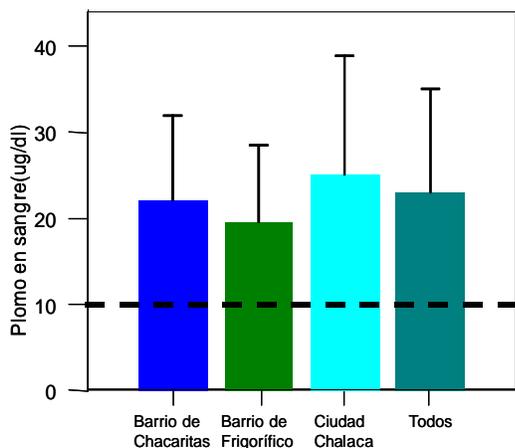


Figura 24. Niveles de plomo en sangre en diferentes barrios del Callao. Perú, 1999

En cuanto a la presencia de depósitos de minerales en las cercanías de la zona de residencia se observaron diferencias muy importantes ($P < 0.01$).

El grupo que sí refirió la existencia de depósitos en las áreas cercanas al hogar (plomo en sangre $.6 \text{ DE} = 9.0$), presentó un exceso de $4.5 \mu\text{g}/\text{dl}$ en las concentraciones del plomo en sangre en comparación con la población que mencionó dicha existencia.

Estos resultados indican que los niños que habitan en los barrios estudiados están expuestos crónicamente a concentraciones elevadas de plomo. La documentación de niveles promedio superiores a $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ indica un problema importante y la necesidad de establecer programas para disminuir la exposición actual, y de esta manera prevenir los efectos adversos de la exposición a plomo.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de los estudios presentados en este reporte confirman que un sector importante de la población que habita en la zona de Puerto Nuevo y en los barrios de Chacaritas, Frigorífico, y Ciudadela Chalaca tiene niveles muy elevados de plomo en sangre. En particular se estima que más de 50% de los escolares que habitan en esta zona tienen niveles por arriba de $20 \mu\text{g}/\text{dl}$, lo que equivale a dos veces el valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud. El análisis de las diferentes muestras ambientales y biológicas estudiadas confirma que la fuente de exposición para los niños que habitan en los barrios de Puerto Nuevo, Chacaritas, Frigorífico y Ciudad Chalaca se origina de las partículas que se desprenden de los depósitos de minerales que se ubican en la zona. Los datos también indican, aunque esto requiere mayor documentación, que la con-

taminación originada por las partículas de los minerales que se manejan y almacenan en la zona puede también tener impacto en otras zonas más distantes y que es probable que estas partículas impacten, aunque en menor magnitud, el ambiente de Lima. La contribución relativa de esta fuente a las concentraciones de plomo en sangre documentadas en los niños que habitan en zonas residenciales distantes, aún está por determinarse. Sin embargo, es claro que para los niños que habitan en las zonas cercanas a los depósitos esta fuente representa, sin duda, la fuente más importante de contaminación por plomo, por lo que se requieren de acciones urgentes para su control.

El análisis comparativo de la razón de isótopos del plomo proveniente de la gasolina utilizada en Lima y en el Callao con el del plomo encontrado en los concentrados de minerales almacenados en la zona del puerto en el Callao, mostró diferencias muy importantes. Esto último permitió la utilización de esta técnica para cuantificar la contribución relativa de cada una de estas fuentes al plomo encontrado en el aire en el Callao y en Lima y en la sangre de los menores que habitan en las zonas antes mencionadas.

En relación con el plomo en aire se observó que la razón de isótopos encontrada en las muestras de partículas en suspensión que se obtuvieron en los muestreo realizados en la zona del Callao correspondieron muy cercanamente a los documentados en las muestras de minerales que se almacenan en la misma zona. Este hallazgo confirma que la fuente más importante de las altas concentraciones a plomo registradas en la zona de estudio la constituyen los depósitos de minerales que se encuentran en la zona. Esta observación confirma que las partículas de los minerales son arrastradas por la acción del aire y que éstas se incorporan a la atmósfera. Posteriormente, estas partículas entran en contacto con los niños que habitan en la zona, ya sea por que contaminan el aire que respiran o porque se depositan en las áreas de juego.

En contraste, la razón de isótopos de plomo observada en las muestras de aire estudiadas en Lima sugiere un patrón de mezcla, la que se encontró en un punto intermedio entre el observado para la gasolina y los minerales. Esto último sugiere que las partículas de los centros de almacenamiento de minerales pueden ser desplazadas a grandes distancias y que constituyen una fuente importante del plomo, que muy probablemente afecta una gran extensión de la zona metropolitana de Lima y el Callao.

El estudio comparativo de isótopos del plomo extraído de las muestras de sangre mostró que el patrón de isótopos del plomo de la sangre de los menores que habitan en la zona cercana a los minerales es muy parecido al encontrado en el plomo extraído de los minerales, este hallazgo confirma que las partículas de los minerales son la fuente más importante de plomo para los niños que

Cuadro 10

DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PLOMO EN SANGRE Y PORCENTAJES DE PARTICIPANTES CON VALORES SUPERIORES A LOS 10 Y 20 UG/DL SEGÚN HÁBITOS REPORTADOS EN LA POBLACIÓN ESTUDIADA.
ENCUESTA DE NIVELES DE PLOMO EN SANGRE. CHACARITAS, CIUDADELA CHALACA Y FRIGORIFICO, PERÚ 1998-99.

Variable Investigada	n	Media (ug/dl)	DE	Mediana (ug/dl)	p25 (ug/dl)	p75 (ug/dl)	pbs10 (%)	pbs20 (%)
¿Se ha fijado si el niño come Tierra frecuentemente?								
No	200	21.95	11.6	20.3	13.8	28.3	84.0	50.5
Si	52	27.36	13.2	23.9	18.2	34.9	96.2	65.4
¿Se ha fijado si el niño muerde o chupa los lápices frecuentemente?								
No	151	21.11	11.1	19.1	13.2	28.2	82.8	45.7
Si	103	25.82	13.1	22.9	16.5	33.2	91.3	65.0
¿Se ha fijado si el niño se lleva cuentos o libros a la boca con frecuencia?								
No	235	22.9	12.3	21.1	14.5	29.3	85.1	53.6
Si	18	23.5	9.6	19.5	16.3	29.9	100.0	50.0
¿Se ha fijado si el niño se lleva plastilina a la boca con frecuencia?								
No	224	22.8	12.1	20.5	14.7	28.9	85.7	51.8
Si	30	24.6	12.3	23.6	15.0	33.1	90.0	66.7
¿Se ha fijado si el niño muerde o chupa las crayolas frecuentemente?								
No	223	22.7	12.1	20.5	14.7	28.9	85.7	52.0
Si	31	25.2	12.2	23.8	17.1	33.2	90.3	64.5
¿Se ha fijado si el niño frecuentemente muerde o se lleva juguetes a la boca?								
No	153	22.6	12.1	20.6	14.3	28.9	83.7	51.0
Si	101	23.7	12.2	21.2	15.4	29.8	90.1	57.4
¿Se ha fijado si el niño se lleva los dedos a la boca frecuentemente?								
No	57	21.5	11.2	20.6	12.4	30.8	78.9	50.9
Si	197	23.5	12.4	21.1	15.4	28.9	88.3	54.3

N: Número de participantes

Media: Media aritmética

DE: Desviación estándar

p-25: Valor límite del percentil 25

p-50: mediana

p-75: Valor límite del percentil 75

Pbs > 10: Porcentaje de participantes con niveles de plomo mayores a 10 ug/dl

Pbs > 20: Porcentaje de participantes con niveles de plomo mayores a 20 ug/dl

* p < 0.05 Prueba estadística para diferencia de medias

habitan en las zonas cercanas a los depósitos. En contraste, la razón de isótopos identificada en los niños que habitan en Lima sugiere un patrón de mezcla, que muy probablemente es el resultado de la influencia tanto del plomo presente en la gasolina como del plomo de los minerales. La observación de que el patrón de isótopos de plomo observado en la sangre de los menores estudiados en Lima es también cercano al observado en los minerales sugiere que las partículas que se desprenden durante el almacenamiento y manejo de los minerales tienen un

impacto sobre una extensa área geográfica y que también afectan, aunque en mucho menor medida, a los niños que viven fuera de la zona de influencia directa de los depósitos de minerales. Sin embargo, los datos actuales no nos permiten descartar un cambio en la fuente del plomo presente en la gasolina. Consultas informales con diferentes expertos en el área indican que dicho cambio no se ha presentado durante los últimos años.

Los resultados de los muestreo ambientales concuerdan con los resultados de los isótopos de plomo e indican

que los depósitos de minerales son la fuente más importante de contaminación por plomo en la zona del Callao, en especial para los habitantes de la zona cercana al puerto. Los resultados de los muestreo ambientales que confirman la participación de los depósitos como fuente principal de exposición a plomo incluyen: a) la observación de que las concentraciones de plomo en suelo disminuyen exponencialmente conforme aumenta la distancia a la zona de almacenamiento de minerales; b) la asociación positiva documentada entre la concentración de plomo en suelo y en polvo con la concentración de plomo en sangre; c) la observación que las concentraciones de plomo en agua fueron menores a lo establecido en la norma internacional, d) y los diferenciales observados en las concentraciones de plomo entre la zona cercana a los minerales y las zonas estudiadas en Lima, indican que estos diferenciales se observaron tanto en aire como en suelo y polvos obtenidos de diferentes superficies como muebles, pisos o de las manos de los niños.

El análisis geográfico también confirma la participación de los depósitos como fuente importante de contaminación. Los diferentes análisis de asociación geográfica mostraron una concentración de valores altos de plomo en las cercanías de los depósitos. Los valores promedios de plomo en sangre más altos correspondieron tanto a escuelas cercanas a los depósitos como a los niños cuya residencia se ubican más cerca de los centros de almacenamiento de minerales. Asociaciones similares se documentaron para las muestras ambientales de suelo, entre menor fue la distancia a los depósitos mayor fue la concentración de plomo documentada en las muestras.

Los resultados de los estudios que se realizaron en los barrios ubicados en los alrededores de los depósitos evidenciaron que los niños que viven en esta zona tienen niveles de plomo muy elevados en comparación con los documentados por otras zonas del Callao o de Lima, lo que sugiere que se encuentran en contacto importante con la partículas que se desprenden de las zonas de los minerales.

Los resultados de los estudios adicionales tanto ambientales como epidemiológicos confirman de manera inequívoca la participación de la zona de almacenamiento de minerales como una fuente de contaminación por plomo que compromete de manera importante la salud de los habitantes de la zona del Callao cercana al puerto. En especial, los diferentes estudios documentaron los importantes riesgos que esta zona implica para la salud de la población infantil que habita en estas zonas.

Es urgente implementar acciones de control para disminuir la contaminación ambiental en la zona de los depósitos, éstas deben incluir acciones ambientales y de infraestructura para lograr un almacenamiento y manejo

de los concentrados de minerales de tal manera que se minimice la emisión y generación de partículas.

Se consideró necesario establecer un sistema de vigilancia continua para documentar las concentraciones de plomo en aire en la zona afectada y de esta forma evaluar las acciones desarrolladas para disminuir la emisión de partículas.

En relación con la escuela María Reiche deberá considerarse la posibilidad de reubicación ya que el riesgo de intoxicación por plomo para los escolares que acuden a este centro es muy alto. Un segundo muestreo realizado en mayo de 2000, por personal de Digesa, documenta concentraciones excesivamente altas en el patio de juego. Las muestras confirmaron valores por arriba de los 5000 ppm, además presentaron un patrón de isótopos muy similar al observado en los concentrados de minerales, lo que indica que aun habiendo realizado algunas medidas de intervención las concentraciones de plomo en el centro escolar son muy altas y constituyen un peligro para la salud de los escolares.

Para establecer el impacto ambiental de los depósitos de minerales en el aire de Lima y el Callao se deben extender los estudios de isótopos de plomo. El estudio comparativo de la distribución de isótopos de plomo en aire y sangre de habitantes de otras ciudades con el observado en Lima podría esclarecer la participación real de la gasolina como fuente de plomo y ayudar a determinar con mayor precisión el impacto de las zonas de depósitos observados en tanto en Lima como en otras ciudades del Perú.

Finalmente, se considera imprescindible realizar un programa de intervención en los barrios cercanos a los depósitos. Se considera urgente diseñar un programa de educación sobre las fuentes de plomo para los habitantes de la zona y de proveer en la medida de lo posible los servicios básicos para aumentar las condiciones de higiene de la población y de esta manera disminuir el impacto de la exposición. Sin duda la acción combinada de medidas dentro de la industria para reducir al máximo la fuga de polvos de minerales y la medidas educativas para reducir la ingesta de polvos en los habitantes de la zona representan la única solución a corto y largo plazo.